

PEMODELAN 3D GAYABERAT DAN ANALISIS STRUKTUR DETAIL UNTUK PENGEMBANGAN LAPANGAN PANASBUMI KAMOJANG

Benediktus Banu, Ahmad Zaenudin, Rustadi

Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145
Email: benediktbanu@gmail.com

Telah dilakukan penelitian gayaberat pada daerah prospek panas bumi daerah Kamojang untuk mengetahui struktur, reservoir dan *heat source*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pengolahan data *Second vertical derivative* dan pemodelan inversi 3D anomali Bouguer. Anomali Bouguer daerah penelitian mempunyai nilai tinggi pada bagian tengah menyebar ke arah Tenggara sedangkan anomali rendah berada pada bagian Barat Laut mengelilingi bagian Barat hingga ke Selatan. Hasil pemodelan inversi 3D anomali Bouguer dapat diketahui bahwa reservoir panas bumi terdapat tepat pada bagian Utara dan Selatan daerah penelitian yang memiliki densitas total $2,68 \text{ gr/cm}^3$ berupa batuan piroklastik gunungapi mulai kedalaman 1500 m DBMTS. Sumber panas (*heat source*) daerah prospek panas bumi berada pada bagian Tengah daerah penelitian, dengan nilai densitas total 2.8 gr/cm^3 , berada pada kedalaman antara 4000 m DBMTS. Arah dari kemiringan struktur sesar dapat dilihat dari kemiringan kurva anomali gaya berat itu sendiri.

Kata kunci: Struktur, Reservoir, *Heat source*.

I. LATAR BELAKANG

Gunung Kamojang dikenal luas dengan nama Kawah Kamojang adalah sumber panas bumi di Jawa Barat, Indonesia. Dalam sejarahnya, dikenal sebagai gunung berapi yang bernama Gunung Guntur, tapi kawah ini dikelompokkan dalam gunung berapi aktif karena aktivitas panas bumi.

Pada penelitian ini akan dilakukan interpretasi struktur dan pemodelan 3D daerah Kamojang berdasarkan anomali Bouguer. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan dan reservoir adalah metode gayaberat. Metode gayaberat adalah salah satu metode geofisika yang sering digunakan dalam kegiatan eksplorasi, mulai dari hidrokarbon,

panas bumi, mineral, air tanah, sampai kepada studi struktur kerak bumi. Prinsip metode ini berdasarkan kepada anomali gayaberat yang muncul karena adanya keanekaragaman rapat massa batuan di bawah permukaan. Keanekaragaman rapat massa tersebut mencirikan adanya suatu struktur geologi atau batas lapisan, serta bahan-bahan penyusun lapisan tersebut, termasuk kehadiran fluida di dalamnya. Secara umum, rapat massa batuan yang belum terkompaksi akan lebih kecil nilainya dibandingkan dengan batuan yang terkompaksi dengan baik.

II. GEOLOGI REGIONAL

Area panasbumi Kamojang terletak pada rantai dataran tinggi vulkanik berarah Barat-Timur dari G. Rakutak di Barat sampai G. Guntur di sebelah Timur dengan ketinggian 1500 m dpl dengan panjang 15 km dan lebar 4,5 km. Sistem ini berasosiasi dengan endapan vulkanik kuarter berumur 400.000 tahun produk dari gunung vulkanik Pangkalan dan Gandapura dan terlihat menempati bagian dalam hasil depresi vulkanik yang dibentuk oleh rim kaldera Pangkalan yang berbentuk graben oleh sesar Kendeng di Barat dan sesar Citepus di Timur. Rim kaldera Pangkalan, sesar Citepus dan sistem sesar-sesar yang cenderung Barat-

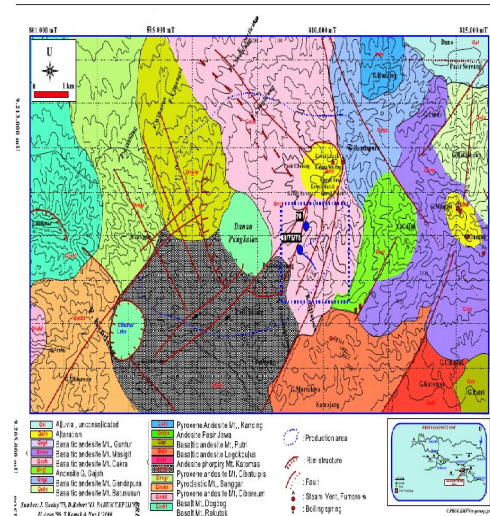
Timur di sebelah Utara lapangan ini memberikan target *drilling* yang menarik karena berasosiasi dengan produktivitas uap yang tinggi.

Secara umum Area Panasbumi Kamojang dan sekitarnya tersusun dari endapan *Pre-Caldera* dan *Post-Caldera*. Formasi Pre-Caldera dari yang berumur tua sampai termuda adalah Basalt Mt. Rakutak, Basalt Dogdog, Pyroxene andesite Mt. Cibeureum, Pyroclastic Mt. Sanggar, Pyroxene andesite Mt. Cibatuipis, Phorphiry andesite Mt. Katomas, Basaltic andesite Legokpulus dan Mt. Putri, Andesite lava Pasir Jawa dan Pyroxene andesite Mt. Kancing. Sedangkan Formasi Post-Caldera dari yang berumur tua ke yang berumur muda terdiri dari Basaltik Andesite Mt. Batususun dan Mt. Gamdapura, Andesite Lava Mt. Gajah, Basaltic Andesite Mt. Cakra-Masigit dan Guntur. Kelompok Formasi Post-Caldera menindih tidak selaras kelompok Formasi Pre-Caldera.

Struktur geologi yang berkembang adalah sesar dan depresi melingkar, yang mengendalikan permeabilitas lapangan Kamojang. Arah sesar-sesar adalah Barat Daya-Timur Laut (BD-TL), Barat Laut-Tenggara (BL-TG), Barat Barat Laut – Timur-Timur Laut

(BBL-TTL) dan Utara-Selatan (U-S). Berdasarkan umurnya sesar-sesar itu dapat diturunkan dari tua ke muda sebagai berikut (Tim Pokja Kamojang, 2000):

- A. Sesar BD-TL (arah $N60^0E$) diperkirakan merupakan sesar tertua di daerah Kamojang di bagian Utara Danau Pangkalan merupakan sesar normal dengan Blok Tenggara relatif turun. Di bagian Selatan danau Pangkalan merupakan sesar mendatar.
- B. Sesar BL-TG (arah $N140^0E$) merupakan kelompok sesar normal yang rumit.
- C. Sesar BBL-TTL (arah $N110^0E$) muncul dibagian Timut Laut daerah Kamojang. Sesar ini merupakan sesar normal dengan Blok Selatan relatif turun.
- D. Sesar U-S (arah $N15^0E$) muncul di bagian timur daerah Kamojang, yang diperkirakan merupakan sesar termuda. Sesar ini merupakan sesar normal dengan Blok Barat relatif turun.



Gambar 2.1 Peta geologi lapangan Kamojang

Bentuk depresi melingkar diduga merupakan sisa kaldera atau kawah yang terdapat di sekitar Danau Pangkalan, Danau Ciharus, dan Gunung Rakutak. Pertemuan kedua pola distribusi struktur (BD-TL dan BL-TG) ini menyebabkan terbentuknya *zone subsurface geology* sangat lemah, sehingga muncul manifestasi-manifestasi panasbumi berupa *fomarole*, *hot springs*, *mud pool*, *silica residu* dan lain-lain di sebelah Timur Laut Area Kamojang.

III. TEORI DASAR

Dasar dari metode gayaberat adalah hukum Newton tentang gayaberat dan teori medan potensial. Newton menyatakan bahwa besar gaya tarik menarik antara dua buah partikel yang mempunyai massa m_1 dan m_2 dengan jarak antara kedua titik

pusat partikel tersebut r adalah (Grant,

$$1965): \quad F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

dimana :

F = Gaya antara benda m_1 dan m_2

G = konstanta gayaberat = $(6,672 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2)$

r = jarak antara m_1 dan m_2

Dalam kenyataannya bentuk bumi tidak bulat sempurna, tetapi berbentuk elipsoid (agak pepat pada kutubnya). Dengan demikian variasi gayaberat di setiap titik permukaan bumi dipengaruhi oleh 4 faktor yaitu:

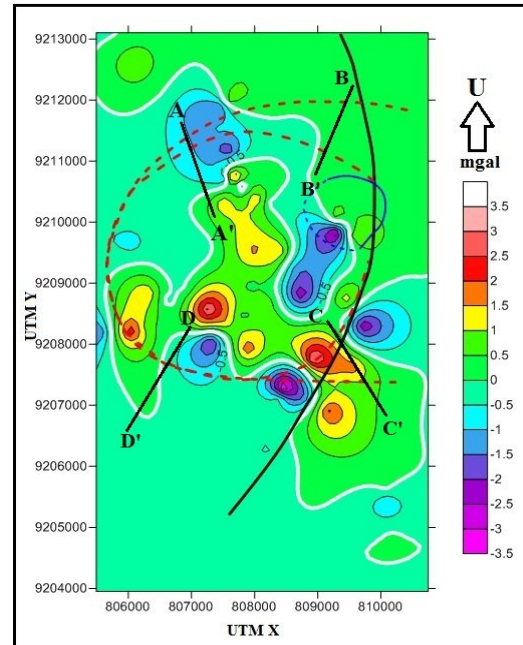
- 1 Lintang
- 2 Topografi
- 3 Pasangsurut
- 4 Variasi rapatmassa bawah permukaan

Second Vertical Derivative (SVD) anomali Bouguer merupakan salah satu teknik filtering yang dapat memunculkan anomali residual (efek dangkal). Adanya struktur patahan disuatu daerah akan dapat diketahui dengan baik menggunakan teknik ini.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode second vertikal derivative (SVD) digunakan untuk menentukan jenis sesar berdasarkan data respon gayaberat model sintetik. Nilai perhitungan SVD secara praktis bisa didapatkan dengan nilai negatif dari SHD. Hasil perhitungan SVD

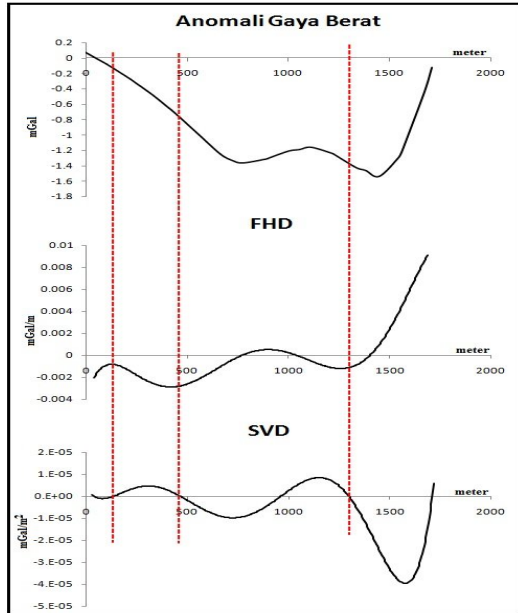
terlihat bahwa karakteristik sesar naik memiliki nilai mutlak SVD maksimum lebih kecil dari nilai mutlak SVD minimum, sedangkan karakteristik sesar turun berlaku sebaliknya.



Gambar 4.1. Peta anomali residual yang dilakukan teknik gradient

Pada Gambar 4.1 di atas terlihat empat garis yang akan dilakukan teknik gradient untuk mengetahui bidang kontak sesar, jenis sesar serta arah kemiringan sesar tersebut. Keempat garis tersebut terletak tersebar mengelilingi *rim structure* yang mengontrol sistem panasbumi di lapangan Kamojang, masing-masing adalah garis A – A' yang terletak pada sebelah Barat Laut dan membentang dengan arah NW – SE, garis B – B' terletak pada sebelah Timur Laut dan membentang dengan arah NE – SW, garis C – C' terletak pada sebelah

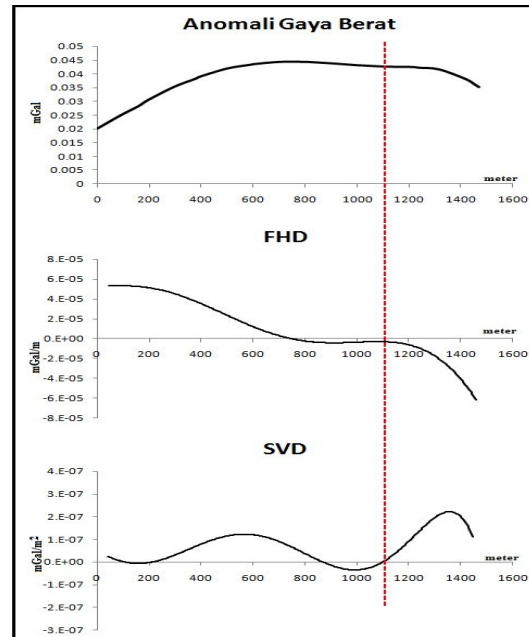
Tenggara dan membentang dengan arah NW – SE, dan garis D – D' yang terletak di sebelah Barat Daya terbentang dengan arah NE – SW.



Gambar 4.2. Respon kurva SVD A – A'

Pada Gambar 4.2 terlihat ada tiga kurva, yaitu kurva anomali gaya berat, FHD dan SVD dengan tiga garis merah yang memotong ketiga kurva. Pada garis merah yang pertama nilai kurva maksimum lebih besar dari nilai kurva minimum, ini menunjukkan bahwa pada garis tersebut terdapat sesar turun. Pada garis merah kedua, dimana nilai kurva minimum memiliki nilai yang lebih besar dari nilai kurva maksimum, yang artinya pada daerah tersebut juga terdapat sesar naik. Garis ketiga sama dengan garis kedua, yang diinterpretasikan sebagai sesar naik. Antara bidang kontak kedua dan ketiga terlihat pada kurva SVD terdapat kurva

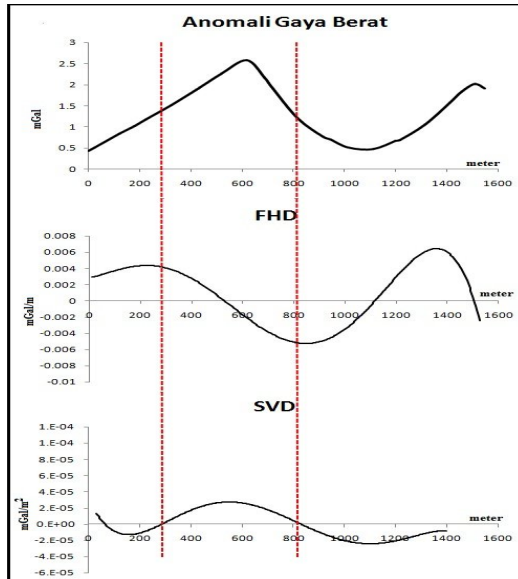
bernilai nol, namun tidak dapat dikatakan sebagai bidang kontak sesar karena jika ditarik garis lurus, kurva FHD tidak tepat pada puncak. Ketiga bidang kontak tersebut memiliki arah sesar yang sama, yaitu ke arah kanan bawah.



Gambar 4.3. Respon kurva SVD B – B'

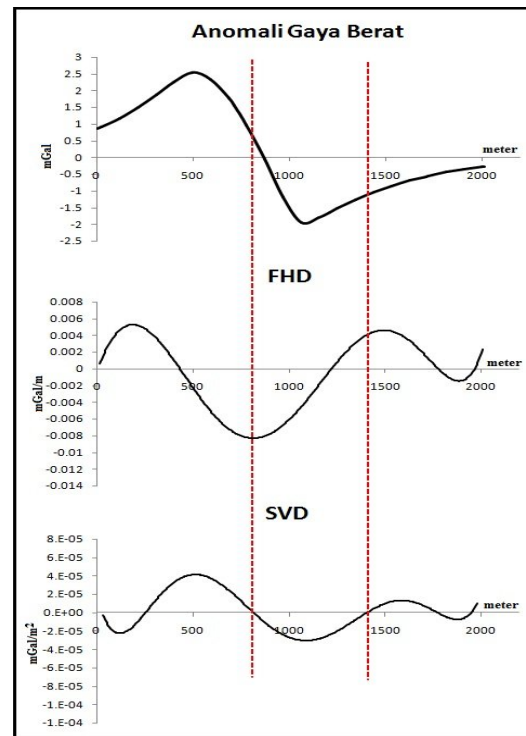
Pada Gambar 4.3 diatas, garis B – B' didapat respon kurva SVD yang menghasilkan satu bidang kontak yang mengindikasikan adanya sesar. Dari titik tersebut, hasil respon yang ditunjukkan yaitu nilai kurva maksimum lebih besar dibandingkan dengan nilai kurva minimumnya. Hal ini berarti bahwa sesar pada titik tersebut adalah sesar turun. Pada kurva SVD sebenarnya terlihat 2 bidang kontak yang bernilai nol, namun pada kurva FHD tidak tepat pada nilai puncak maksimum atau minimum, jadi belum bisa

dikatakan sebagai adanya sesar. Arah kemiringan sesar dari bidang kontak yang ditampilkan pada Gambar 35 ke arah kiri bawah dilihat dari kurva SVD dan anomali gayabernya.



Gambar 4.4 Respon kurva SVD C – C'

Pada Gambar 4.4, terdapat dua bidang kontak yang diperlihatkan dengan garis merah yang memotong ketiga kurva, anomali gayabernya, FHD dan SVD. Kedua bidang kontak tersebut memiliki nilai puncak maksimum lebih besar dari nilai puncak minimum, yang artinya adalah sesar normal. Pada bidang kontak pertama, arah kemiringan sesar ke arah kiri bawah, dan bidang kontak kedua kemiringan sesar ke arah kanan bawah, hal ini dilihat dari kurva anomali gayabernya dan kurva SVD.

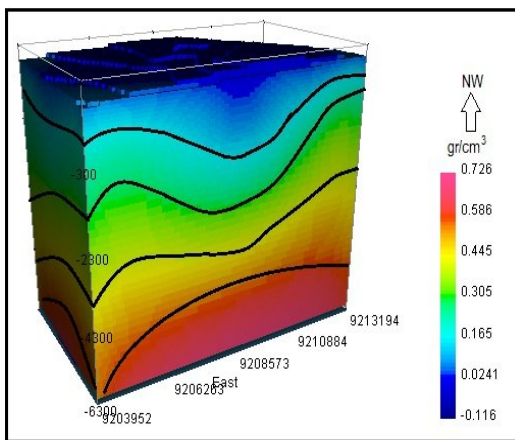


Gambar 4.5 Respon kurva SVD D – D'

Dari garis D – D' pada Gambar 4.5, didapat respon kurva yang menghasilkan empat titik yang mengindikasikan adanya sesar. Namun dari keempat titik tersebut hanya dua yang merupakan bidang kontak sesar, yaitu pada titik kedua dan ketiga yang ditandai garis merah, karena hanya kedua titik tersebutlah yang memenuhi syarat dapat dikatakan sebagai sesar. Pada bidang kontak pertama nilai maksimum lebih besar daripada nilai minimum, yang artinya pada bidang kontak tersebut merupakan sesar turun. Sedangkan untuk arah kemiringan sesar bidang kontak pertama ke arah kanan bawah mengikuti

kurva anomali gayaberat dan kurva SVD. Pada bidang kontak kedua nilai maksimum lebih kecil dari nilai minimum, artinya pada bidang kontak tersebut merupakan sesar naik. Sedangkan arah kemiringan sesar berarah ke kiri bawah, mengikuti kurva anomali gayaberat dan kurva SVD.

Dari model distribusi densitas bawah permukaan dapat dilihat bahwa struktur geologi bawah permukaan terdapat adanya pola lapisan yang ditandai dengan perubahan pola warna antara merah, kuning dan biru yang mengindikasikan perlapisan batuan, lapisan kedua (berwarna hijau) dan lapisan ketiga (berwarna merah) yang memiliki densitas tinggi. Pada lapisan pertama yang berwarna biru dimana mengindikasikan nilai densitas rendah, terlihat dua model seperti cekungan.



Gambar 4.6 Model inversi 3D anomali Bouguer lengkap dengan pola perlapisan

Pada Gambar 4.6 merupakan model reservoir panas bumi hasil inversi 3D dengan hanya menampilkan densitas total 2,5 gr/cm³ sampai dengan 2,7 gr/cm³, dapat dilihat bahwa reservoir panas bumi berada pada kedalaman antara 1500 m sampai dengan 500 m DBMTS, dan berdasarkan hasil analisis kedalaman anomali residual dengan menggunakan metode numerik dan dicocokkan dengan model 3D anomali residual diperkirakan reservoir berada pada kedalaman 700 m. Di dalam area produksi, satuan batuan penyusun terdiri dari produk G. Cakra di sebelah Timur menyebar ke Utara, andesit lava Pasir Jawa di sebelah Barat menyebar ke Utara dan piroksin andesit G. Cibatuipis menempati sebelah Tenggara. Pola distribusi batuan dan formasi agaknya mengikuti pola distribusi struktur geologi regional Area Kamojang. Pada Gambar 40 tersebut ditampilkan terdapat dua blok reservoir yang berada pada bagian Utara dan Selatan daerah penelitian. Reservoir

sebelah selatan lebih besar menyebar dibagian selatan daerah penelitian.

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisis model adalah sebagai berikut:

1. Peta anomali Bouguer tinggi berada pada bagian Tengah sedangkan Anomali Bouguer rendah berada mulai dari bagian Barat Laut menyebar hingga ke bagian Tenggara daerah penelitian.
2. Dari pemodelan inversi 3D menunjukkan bahwa ;
 - a) Reservoir panas bumi terdapat pada bagian Utara dan Selatan daerah penelitian yang memiliki densitas antara $2,5 - 2,7 \text{ gr/cm}^3$ berupa batuan piroklastik gunungapi pada kedalaman antara 700 m.
 - b) Sumber panas (*heat source*) daerah prospek panas bumi berada pada bagian Tengah daerah penelitian, dengan nilai densitas total $2,8 \text{ gr/cm}^3$, berada pada kedalaman antara 4000 m DBMTS.
3. Pola struktur sesar yang dihasilkan dengan analisa SVD lebih kompleks dibanding dengan pola sesar dari peta geologi daerah penelitian.
4. Pola kemiringan sesar dapat ditentukan dengan melihat arah kemiringan dari kurva anomali gaya beratnya dan kurva SVD.

Adapun saran dari penelitian ini yaitu perlu adanya kajian lanjut antara model dengan letak manifestasi dan struktur data geologi dan distribusi sumur produksi, untuk lebih menguatkan antara hasil yang telah dibuat terkait keberadaan reservoir, alur patahan dan produktivitas, sehingga dari hasil yang telah dilakukan dapat menjadi lebih baik lagi.

Untuk penambahan sumur produksi, akan lebih baik dilakukan pada bagian Utara dan Selatan atau tepat di atas reservoir, guna menghemat biaya pengeboran.

DAFTAR PUSTAKA

- Andre. 2007. Interpretasi struktur lapangan “s” berdasarkan data anomali gayaberat dengan menggunakan teknik gradient (Skripsi). ITB Bandung
- Blakely, R. J. 1996 *potential theory in gravity and magnetic Applications*. Cambridge University Press. Cambridge
- Distamben Kabupaten Pasaman, 2006. *Potensi Energi Panas Bumi (Geothermal) Kabupaten Pasaman*, Sumatera Barat.
- Handayani, F. 2009. Interpretasi Struktur Dan Pemodelan 2 ½ D Daerah Panasbumi Bonjol Berdasarkan Data Gayaberat.(Skripsi). Universitas Lampung

- Kholid, M., Lim, D., dan Widodo, S. 2010. *Penyelidikan Terpadu (Geologi, Geokomia Dan Geofisika) Daerah Panas Bumi Bonjol*, Kabupaten Pasaman, Sumatera Barat.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley and Sons Inc., England
- Robinson, E. S and Coruh C. 1988. *Basic exploration geophysics*. John Wiley and Sons Inc. Canada
- Rock, N. M. S., Dkk. 1983. *Peta Geologi Lembar Lubuk Sikaping*, Sumatera, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Sarkowi, M 2009. *Modul praktikum metode gayaberat*. Universitas Lampung. Bandar lampung
- Suhadiyanto. 2008. *Pemodelan Metode Gravitasi 3D Dengan Menggunakan Matlab*. FMIPA. Universitas Indonesia. Jakarta
- Sunaryo. 2010. Analisis Struktur dan Reservoir Sistem Panas bumi Ulubelu Berdasarkan Pemodelan Anomali Bouguer. (Skripsi). Universitas Lampung.
- Telford, W. M., Goldrat, L. P and sheriff, R. P. 1990. *Applied Geophysics* -2nd ed. Cambridge University Press. Cambridge.
- Wood, R and Wooward, D. 2002. Sediment thickness and Crustal structure Offshore western New Zealand from 3D gravity modeling. *New Zealand journal of geology and geophysics*. Vol.45 hal. 342-255.
- Zhou X., Zhong B., and Li X., 1990, *Gravimetric Terrain Correction by Triangular-Element Method*, Geophysics, vol. 55, pp. 232-238